

Van groeiend belang zijn de prefab funderingsystemen. Deze worden zowel in de woningbouw als in de kleinere U-bouwprojecten toegepast.

In dit hoofdstuk worden twee systemen onderscheiden, namelijk:

- het systeem waarbij op de funderingspaal een geprefabriceerde balk wordt geplaatst en
- het systeem waarbij een deel van de balken geprefabriceerd wordt aangevoerd.

*Auteurs: dr.ir. S.P.G. Moonen, TU/e*

*prof.ir. H.W. Bennenk, TU/e en Adviseur van BELTON*

## 7 VOLLEDIG PREFAB FUNDERINGSYSTEEM

### Inhoudsopgave

7.1	<i>Volledig prefab funderingsstelsel</i> .....	3
7.2	<i>Gedeeltelijk prefab funderingswijze, ACE's</i> .....	13
7.2.1	Een beperkt aantal vormen	
7.2.2	Industrieel vervaardigde onderdelen	
7.2.3	Geen kimlaag nodig	
7.2.4	Begane-grondvloer en fundering gelijktijdig gestort	

### Literatuurlijst

- [7.1] Faas Moonen - Ontwerp van een geïndustrialiseerde funderingswijze - Proefschrift van mei 2001 - Uitgave van de TU/e als Bouwstenen 59.
- [7.2] Moonen, S.P.G. - De ACE's fundering (I):  
Onderdeel van industrieel bouwen. *Cement* 1998 nr. 10.
- [7.3] Moonen, S.P.G. - De ACE's fundering (II):  
Handicap wordt belangrijkste troef. *Cement* 1998 nr. 11.



## 7.1 VOLLEDIG PREFAB FUNDERINGSYSTEEM

De prefab-betonbalken kunnen in verschillende doorsneden worden besteld. De doorsneden komen overeen met de gebruikelijke maten in de fundering, in de breedte afgestemd op de paalbreedte en in de hoogte veelal afgestemd op de hoogte van de kruipruimte of de hoogte nodig voor voldoende gronddekking. De balken zijn gewapend uitgevoerd en voorzien van tanden aan de uiteinden. Die tanden zijn zodanig gekozen, dat de op elkaar aansluitende balken via een 'halfhoutse' verbinding de krachten aan elkaar overdragen. Het liggersysteem kan dan een gerbersysteem zijn, waarbij de balken statisch onbepaald kunnen worden geconstrueerd en de gerberscharnieren ter plaatse van de momentennulpunten worden gekozen. De balken lenen zich dan ook niet echt om te worden voorgespannen, omdat de optredende buigende momenten zowel positief als negatief zijn, zodat een voorspanning onderin averechts werkt ter plaatse van het steunpunt.

De tandoplegging kan op meerdere manieren worden uitgewerkt, zoals:

- een aansluiting om de balk te verlengen;
- een haakse aansluiting bij een buiten- of binnenhoek van de fundering;
- de oplegging van een balk op een doorlopende balk .

De keuze van het statische systeem moet zodanig zijn dat de legvolgorde daarmee in overstemming kan zijn. De legvolgorde geeft ook aan of een balk een tand aan de onderzijde heeft of aan de bovenzijde. De maximale lengte van de balk ligt in de orde van 10 tot 12 m.

De prefab balken zijn voorzien van verticale sparingen ter plaatse van de paal. De balken zijn meestal niet zo zwaar belast, hetgeen dan correspondeert met een relatief licht paalsysteem. De funderingspaal wordt in principe op hoogte afgeheid. De paal kan na het heien zowel in de X-, Y- en Z-richting een plaatsingsafwijking vertonen. Binnen grenzen van 50 mm, zowel in de hoogte als in het horizontale vlak, kan men deze plaatsafwijkingen zonder nadere maatregelen opvangen.

Veelal wordt vanuit de ontgraven bouwput geheid om de paalkop op de juiste hoogte te kunnen afheien. Soms wordt vanaf maaiveld geheid, waarbij de palen worden doorgeslagen met een opzetblok en men met een ingeschatte kalendermaat op de gewenste hoogte afheit. Zodra men het heiwerk heeft uitgevoerd wordt de bouwput ontgraven, zeker circa 50 mm dieper dan de onderzijde van de balk.

In de ontgraven bouwput wordt nu opnieuw gemaaktgevoerd en de afwijkingen in 3 richtingen gemeten.

Daar waar de afwijkingen binnen het tolerantiegebied vallen, wordt in het geplande hart van de paal een stek ingeboord, die dan moet corresponderen met de sparing in de balk; gezien de aangehouden 50 mm maatafwijking dus altijd ergens in de paalkop. Rond die paal wordt een eenvoudige casing geplaatst, de paal wordt op hoogte afgestort met mortel. Na verharding wordt de balk gemonteerd en de stekverbinding aangegoten. Indien een grotere hoogte moet worden overwonnen, wordt rond de casing wat grond aangebracht en de paal eveneens opgestort, soms gelijk met het aangieten van de stekverbindingen.

De balk kan dus lokaal excentrisch ondersteund zijn.

De montagesnelheid is onwaarschijnlijk hoog. Meer dan 60 balken per dag voor een kleine montageploeg is heel gewoon. Dat is ook het aantrekkelijke van dit systeem, de snelheid en de relatieve eenvoud.

Doorvoeren voor leidingen moeten bekend zijn om de balken in vorm te kunnen uittekenen, van wapening te voorzien en te produceren. Deze horizontale sparingen kunnen niet ter plaatse van de constructief noodzakelijke wapening worden gemaakt, zoals net naast en boven palen. Zo is er een zone onder en boven in de balk niet geschikt vanwege de onder- en de bovenwapening. Bij de tand is die zone uitgebreider. Ook de tandwapening moet worden gespaard. Maar daarmee is goed te werken. Zie voor de maatgevende details de navolgende foto's.

Een en ander wordt toegelicht aan de hand van een praktijkvoorbeeld: de fundering voor woningen.



*Foto 7.001: Veldmaten uitgezet, bouwput ontgraven, palen aangevoerd*



*Foto 7.002: Aanvoer balken*



Er zijn verschillende leveranciers op de markt, maar in principe verschillen de systemen onderling niet veel.



Foto 7.003: Het heien van de palen, op diepte. Hier wordt de paal onder de stelling gebracht



Foto 7.004: Palen worden op hoogte gekraakt. De hoogte wordt overgehaald, zie tweede man



Foto 7.005: De kraakhoogte staat aangegeven





*Foto 7.006: Kraken*



*Foto 7.007: Een gekraakte paal. De wapening wordt op hoogte afgeslepen*



*Foto 7.008: De paal is opgestort tot het juiste niveau, de stek is in het gemaakte boorgat geplaatst en de ruimte aangegoten. De paalafwijking was hier zeer klein, zodat de stek vrijwel in het hart van de paalkop staat*



*Foto 7.009: Balken aangevoerd. Zie de tand en de oplegnok, ieder een halve (balk - voeg) hoog. De stekgaten zijn duidelijk waarneembaar zowel in de tand als in de balk ter plaatse van de palen*



*Foto 7.010: Balk in de kraan, zie nu links de inkeping voor de uitwendige hoekaansluiting. Sparingen in balken zijn zeer goed mogelijk, zolang ze de onder- en bovenwapening respecteren - 75 mm vanaf onder- en bovenzijde. Verder ter plaatse van de tand en oplegnok idem. De beugelzone voor de dwarskrachtopname naast kepen dient ook te worden ontzien*





*Foto 7.011: Verdere montage, de volgende balk ligt op de voorgaand gemonteerde balk!*



*7.012: Maatvoering tijdens montage met piket en de daarin geslagen spijker, zie ook foto 7.014*



*Foto 7.013: Inwendige keep in de balk voor een balk, die daarin wordt opgelegd*





*Foto 7.014: Controle positie balk. De steek zit verbogen in de balksparing, passend gemaakt*



*Foto 7.015: Montage balk voor buitenhoek. De sparing in de linkerbalk geeft aan dat de paal daaronder staat, dus rust de nieuw geplaatste balk op het overstek van de balk aan de linkerzijde!*



*Foto 7.016: Gevelbalk wordt opgelegd op overstekende balk. Twee tanden op 1 oplegnok*

Een ander woningbouwproject als voorbeeld



*Foto 7.017: In een andere bouwput worden de palen op hoogte gebracht met een kartonnen koker waarin gietmortel is gestort*



*Foto 7.018: Montage balk, waarbij de tussenliggende paalkoppen slechts van een casing zijn voorzien. Deze aangieten via de sparing in de balk*



*Foto 7.019: Balk positioneren, over stekken heen*





Foto 7.020: Op deze balk komt een balk te rusten, zowel vanaf de linkerzijde als vanaf de rechterzijde, zie de kepen



Foto 7.021: Aangieten sparing, waardoor balk en paal verbonden via stek en stelruimte tussen paal en balk gevuld is



Foto 7.022: Detailoplegvlak, waarbij een viltlaag is aangebracht. Buitenhoek!





Foto 7.023: Montage tussenbalk



Foto 7.024: Aangieten van verbinding van 2 langsbalken op een draagbalk

Een alternatief systeem is ontwikkeld door ir. Faas Moonen tijdens zijn promotiestudie aan de TU/e [7.1]. Het ontwikkelde systeem, genoemd ACE's (Adjustable Closed Elements), heeft al een prijs gekregen, zijnde vernieuwend.

De navolgende tekst is door ir. Moonen zelf geschreven en ter beschikking gesteld van deze onderwijsuitgave.

## 7.2 GEDEELTELIJK PREFAB FUNDERINGSWIJZE, ACE'S

Als ergens geldt "een goed begin is het halve werk", dan is het wel bij funderingen, want een maatvaste basis voorkomt improvisaties in latere bouwfases. Het belang van een nauwkeurige fundering zal alleen nog maar toenemen, aangezien het aandeel van geprefabriceerde (en maatvaste) onderdelen in de bouw steeds groter wordt. Omdat de gewenste nauwkeurigheid met de gangbare funderingen niet altijd gerealiseerd kan worden, is de gedeeltelijk prefab fundering ontwikkeld. Deze funderingswijze biedt voordelen op de volgende aspecten:

- *nauwkeurige maatvoering.* In een proefproject is een totale tolerantie van minder dan 2 mm gerealiseerd. Dit geldt zowel voor de hoogte als de positie van de fundering;
- *vereenvoudiging van de bouworganisatie.* Alle voorkomende werkzaamheden kunnen door de machinist van een mini-graafmachine samen met een grondwerker in één arbeidsgang worden uitgevoerd (foto 7.032);
- *uitbesteden van de fundering.* Omdat de funderingswijze in één arbeidsgang wordt gerealiseerd, is de funderingswijze uitermate geschikt voor onderaanneming;
- *één stort* voor zowel de fundering als de begane grondvloer of de deklaag op de systeemvloer;
- *opheffen van alle koudebruggen* naar de ondergrond. Zonder extra arbeid, omdat het isolatiemateriaal in de prefab elementen is geïntegreerd;
- *reductie van de bouwkosten;*
- *verbeterde arbeidsomstandigheden*, o.a. door een reductie van de bouwplaatsactiviteiten (40%). De graafmachine zorgt ervoor dat er geen zwaar werk meer voorkomt.

Kenmerkend voor de gedeeltelijk prefab funderingswijze ACE's zijn twee recht-opstaande prefab-betonplaten, die tijdens de uitvoering door steltegels worden ondersteund. De steltegels worden met stelschroeven nauwkeurig op hoogte gebracht (foto 7.025 en foto 7.026). De stelschroeven worden uitsluitend tijdens de uitvoeringsfase belast. Doordat de prefab-betonplaten over de bovenzijde van de steltegels kunnen schuiven, worden de betonplaten zeer nauwkeurig gepositioneerd. De positie van de prefab platen wordt met moderne laser-apparatuur gecontroleerd en zo nodig gecorrigeerd. Als de prefab platen op de exacte positie zijn geschoven (+/- 2 mm), worden deze gefixeerd, waarna de tussenruimte met een goed vloeibare betonspecie wordt gevuld.

Na uitharden van de betonspecie neemt het beton de dragende functie van de stelschroeven over en vormen de afzonderlijke prefab platen een samenhangend balkenrooster. Deze betonspecie heeft echter ook nog een belangrijke andere functie. Want niet alleen de ruimte tussen de prefab platen, maar ook de holte onder de prefab platen (foto 7.027) wordt geheel met betonspecie gevuld. Op deze wijze wordt de gewenste aanlegbreedte gerealiseerd en kan de uiteindelijke funderingsbalk zijn belasting beter afdragen op de ondergrond. Bij een fundering op staal is dit mogelijk omdat elke onregelmatigheid in de uitgraving volledig wordt gevuld. Egaliseren van de funderingsbodem is

dan ook niet nodig, en zelfs niet gewenst, omdat de fundering beter door ongeroerde grond wordt ondersteund. De gehele procesgang is weergegeven. Bij een fundering op palen (fig. 7.035) zorgt het vulbeton ervoor dat elke onregelmatigheid tussen de ondersteuning (een 'gesnelde' heipaal) en funderingsbalk wordt opgevuld (fig. 7.028). De uitstekende stukken wapening van de heipaal bevinden zich dan in de ruimte tussen de prefab platen. Op deze wijze wordt bij een fundering op palen een goede ondersteuning van de funderingsbalken verkregen.

### 7.2.1 Beperkt aantal vormen

Voor de funderingswijze zijn zes verschillende onderdelen ontwikkeld, weergegeven in de schematische tekening in figuur 7.025, 7.027 en 7.028. Met dit beperkt aantal onderdelen kan in principe iedere fundering worden gemaakt. Zowel een fundering op palen (foto 7.028) als een fundering op zand (foto 7.027) worden uit dezelfde onderdelen opgebouwd. Bij beide funderingstypen is zowel een systeemvloer als een vloer op zand mogelijk. Zie ook foto 7.029 a/b. De meest opvallende onderdelen zijn de beide rechtopstaande betonelementen. Het hoge element (725 mm) wordt gebruikt voor het binnenspouwblad en (woning-)scheidende wanden. Het lagere element (500 mm) is geschikt voor het buitenspouwblad en de dragende binnenmuren. In deze geprefabriceerde betonelementen zijn aan de onderzijde op elke 0,25 m sparingen voorzien. In deze sparingen kunnen eventueel mantelbuizen voor leidingen worden aangebracht. Het gehele systeem is in figuur 7.035 a t.m. e schematisch en stap voor stap weergegeven.

### 7.2.2 Industrieel vervaardigde onderdelen

Alle onderdelen die voor de gedeeltelijk prefab funderingswijze benodigd zijn, worden op voorraad geproduceerd. De rechtopstaande betonelementen worden in een lange lengte vervaardigd en, als de specifieke projectgegevens bekend zijn, op de benodigde lengte afgekort (foto 7.034). Hiertoe zijn de betonelementen zodanig gedetailleerd dat in elke snede de onderlinge koppeling kan worden vastgemaakt. Doordat alleen industrieel vervaardigde onderdelen worden verwerkt, is een korte voorbereidingstijd mogelijk.

### 7.2.3 Geen kimlaag nodig

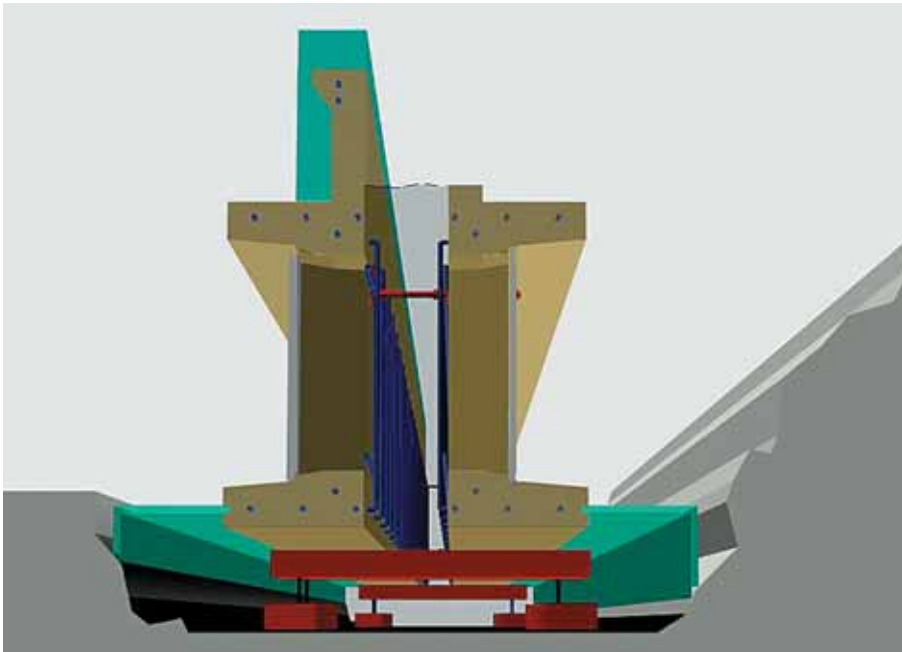
De detaillering van de hoge elementen is zodanig dat de bovenzijden van de rechtopstaande platen na het realiseren van de begane-grondvloer zichtbaar blijven. Dit geeft dan in de volgende bouwfases de exacte positie van de wanden aan. En de bovenzijde van de prefab elementen is zo vlak, dat hierop bijvoorbeeld kalkzandsteenelementen zonder kimlaag kunnen worden gelijmd.

### 7.2.4 Begane-grondvloer en fundering gelijktijdig storten

Bij de funderingswijze wordt het grondwerk gereed gemaakt voordat het beton tussen en onder de funderingsbalken wordt aangebracht. Hierdoor kan het beton voor de begane-grondvloer gelijktijdig met fundering worden aangebracht (foto 7.033). Dit kan een in het werk gestorte vloer op zand op



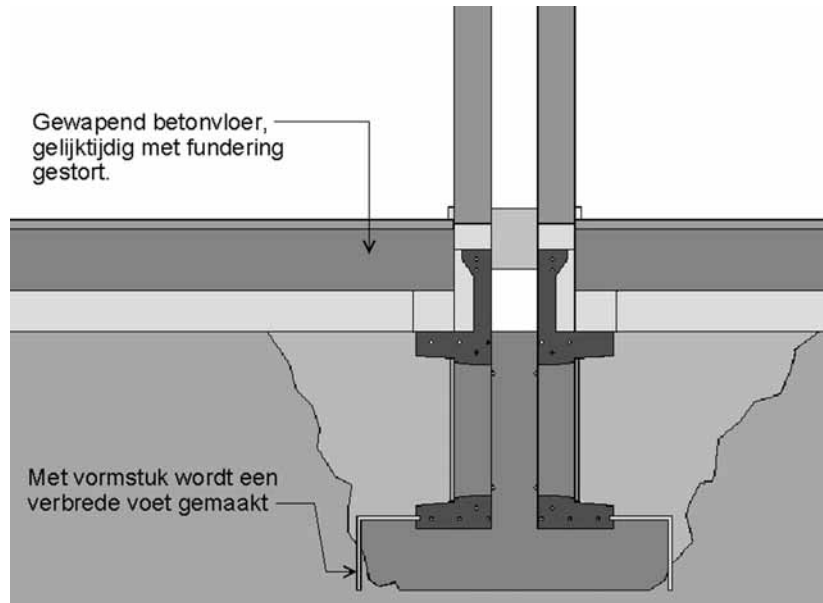
een mechanisch verdichte ondergrond zijn. Maar ook bij een systeemvloer wordt de druklaag gelijktijdig met de fundering aangebracht.



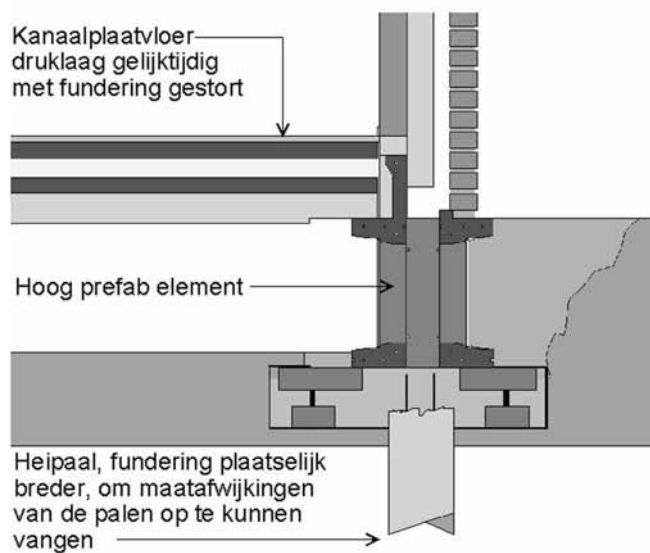
*Figuur 7.025: Schematische weergave van de funderingswijze, gezien van onderaf. Het vulbeton is in deze tekening transparant weergegeven. Tijdens de uitvoering staan de beide verticale elementen op stelelementen, die met schroeven op de juiste hoogte zijn gebracht. Na verharding wordt de dragende functie van de stelschroeven overgenomen door het beton*



*Foto 7.026: Stellen. De bovenzijde van een stel-element wordt met 3 schroeven op de gewenste hoogte gebracht*



**Figuur 7.027: Doorsnede bij een strokenfundering met een vloer op zand. Aan de onderzijde zijn L-vormige afsluitstukken geplaatst, waarmee de gewenste aanlegbreedte wordt gerealiseerd**



**Figuur 7.028: Met dezelfde elementen wordt ook een fundering op palen met een systeemvloer gemaakt. De afsluitstukken worden alleen ter plaatse van de heipaal geplaatst (om eventuele maatverschillen met de paal op te vangen)**



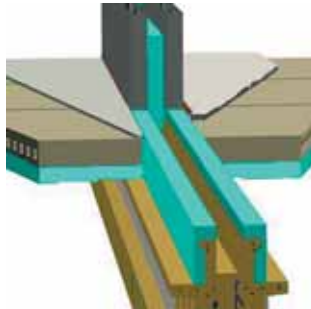
Foto 7.029 a/b:

*Aanbrengen vulbeton. Het vulbeton kan rechtstreeks vanuit de truckmixer worden gestort. Het beton wordt met een trilnaald verdicht. Op deze foto is eveneens te zien dat de vloer (op zand) gelijktijdig met de fundering wordt gestort. Bij grotere projecten wordt het beton met een betonpomp gestort*





*Foto 7.030: In een referentieproject zijn de organisatie-aspecten van de funderingswijze getoetst. De fundering op de voorgrond is met de funderingswijze ACE's gerealiseerd, terwijl de fundering op de achtergrond op traditionele wijze is vervaardigd*



*Figuur 7.031: In de bovenzijde van de hoge elementen is isolatiemateriaal opgenomen. Hierdoor kan de isolatieschil tussen vloer en wand volledig worden gesloten. Dit principe wordt hier getoond bij een fundering op palen voor een woningscheidende wand waarbij systeenvloeren zijn toegepast*



*Foto 7.032: Alles in één hand. De (mini-)graafmachine is een belangrijk gegeven voor de funderingswijze. Want het afstemmen van de massa van alle onderdelen op het hijsvermogen van de graafmachine heeft het voordeel dat:*

- *er minder disciplines bij de uitvoering zijn betrokken (graafmachine is toch al aanwezig);*
- *de bouwkosten worden gereduceerd (graafmachine is goedkoper dan mobiele kraan);*
- *er ook op een slecht begaanbare locatie kan worden gewerkt;*
- *er nog geen bouwplaatsvoorzieningen nodig zijn, zodat een te late aansluiting van elektra en water geen vertraging oplevert;*
- *de werkzaamheden op locatie in één arbeidsgang worden uitgevoerd (kortere totale bouwtijd);*
- *de gehele fundering door een gespecialiseerd (grondwerkers)-bedrijf kan worden verzorgd (met alleen een graafmachine en een grondwerker);*
- *de uitvoering van alle werk onder peil de verantwoordelijkheid van één onderaannemer is, waardoor de planning en organisatie wordt vereenvoudigd.*

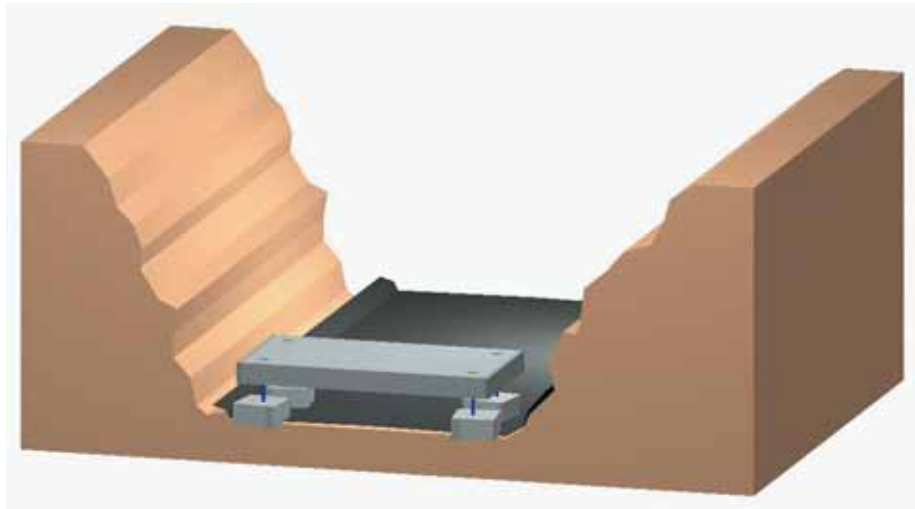


*Foto 7.033: Fundering voordat de tussenruimte met beton wordt gevuld. Onder de betonnen platen is met een L-vormig afsluitstuk een verbrede voet gecreëerd, die ook met beton wordt gevuld*

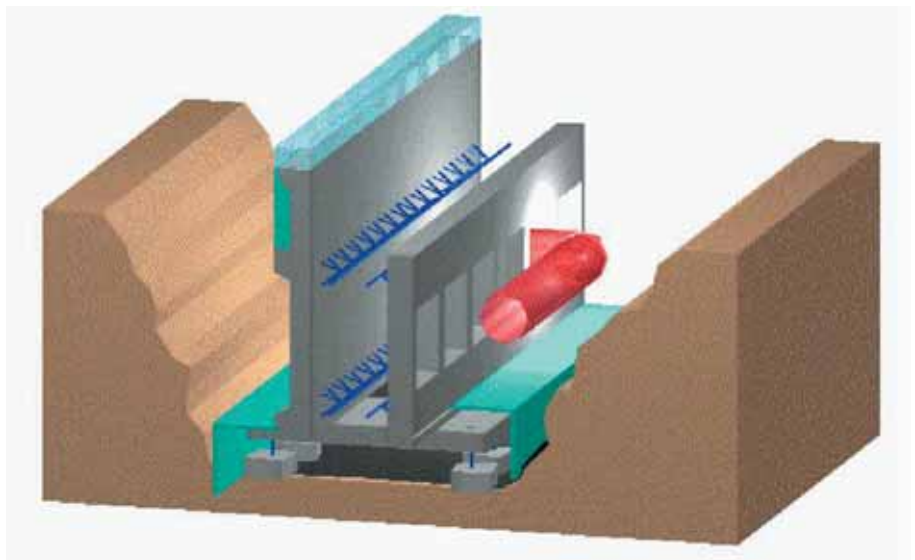


*Foto 7.034: Productie. De prefab-betonelementen worden in lange stroken achter elkaar gestort. In eerste instantie worden in de bekisting tussenschotjes geplaatst, om de gewenste lengte te realiseren. Later zullen de betonnen elementen op voorraad worden geproduceerd, en wordt de gewenste lengte verkregen door afkorten van de lange strook kort voordat met de uitvoering wordt begonnen. Met op voorraad geproduceerde elementen wordt de voorbereidingstijd gereduceerd*

De stapsgewijze schematische weergave van het proces

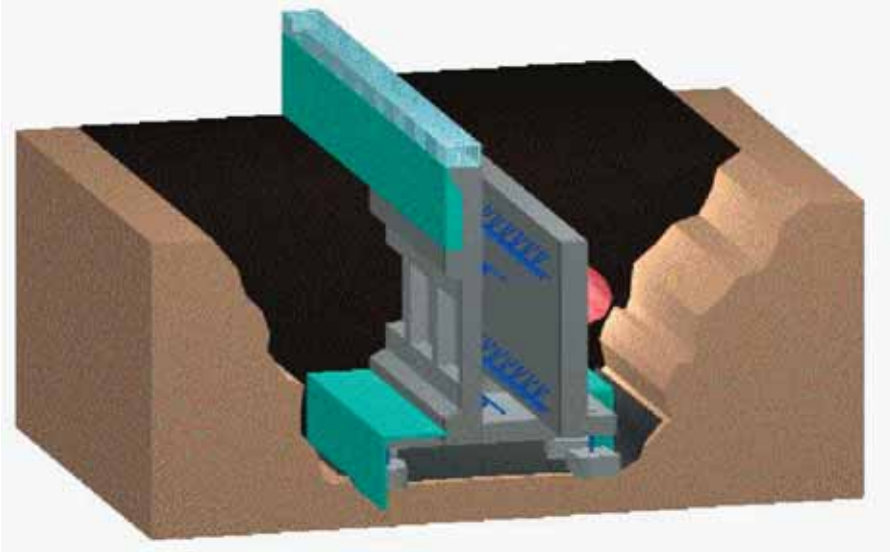


*Figuur 7.035a: Na het ontgraven wordt een strook plastic folie uitgerold. Hierop worden enkele stelblokjes geplaatst. Met stelschroeven (en een roterende laser) wordt nauwkeurig de gewenste hoogte ingesteld*

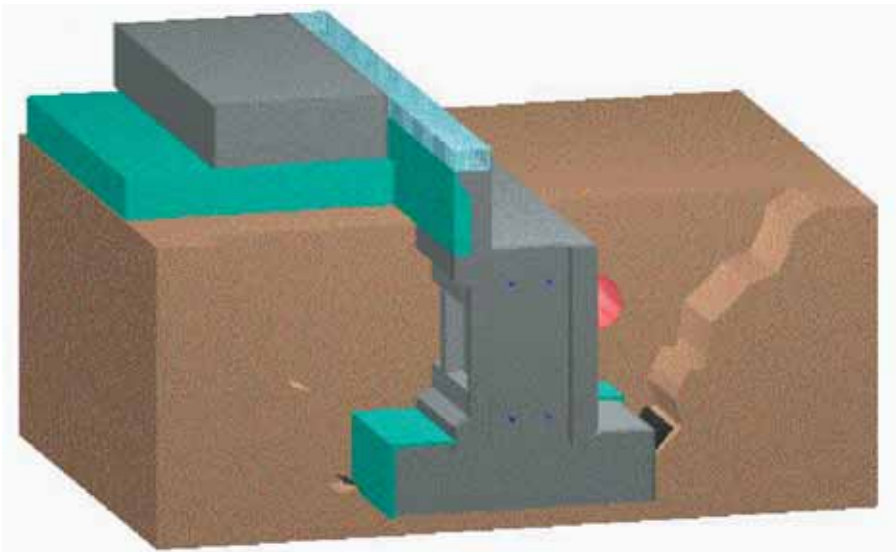


*Figuur 7.035b: Op de stelblokjes worden twee rechtopstaande prefab-betonplaten eerst globaal geplaatst door een graafmachine. Elke betonplaat wordt daarna exact gepositioneerd, door deze handmatig over de vlakke bovenzijde van het stelelement te verschuiven. Elke plaat heeft inkassingen op regelmatige afstanden (0,25 m), afgedekt met een dunne plaat. Als een doorvoering moet worden gemaakt, wordt de dunne plaat verwijderd. Op deze wijze kunnen leidingen overal ongehinderd worden doorgevoerd*

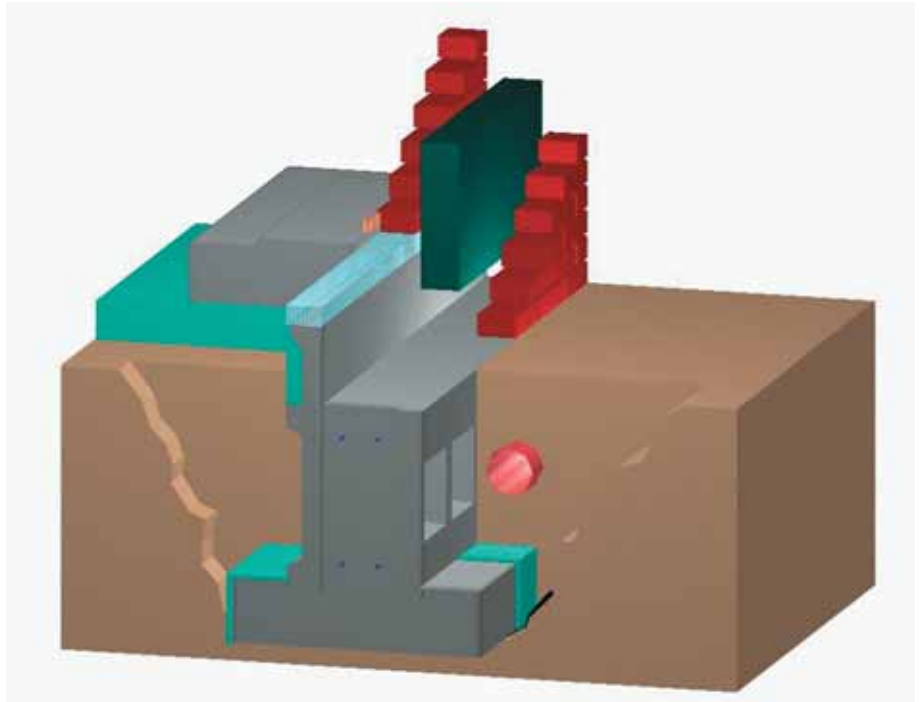




*Figuur 7.035c: Aan de onderzijde wordt een afsluitstuk van hardboard of EPS aangebracht. Door te variëren met afsluitstukken met verschillende breedten wordt de funderingsbreedte aangepast, zodat de gronddruk meer gelijkmatig wordt verdeeld. Het afsluitstuk maakt het tevens mogelijk om de grond aan te vullen, voordat er beton tussen de prefab platen is gestort. Door enkele afstandhouders tussen de prefab platen zullen deze tijdens het aanvullen en later tijdens het storten niet verschuiven. Bij een fundering op balen worden de afsluitstukken alleen bij de heipalen aangebracht. In de tussenliggende stukken wordt de plastic folie teruggeslagen om het beton en het zand te scheiden*



*Figuur 7.035d: Bij een vloer op zand wordt de vloerisolatie en -wapening direct na het aanvullen aangebracht. Hierdoor kan het beton voor de vloer en de fundering gelijktijdig worden gestort. Het beton vult ook de ruimte onder de prefab platen. De schroeven in de stelelementen hebben dus uitsluitend tijdens de uitvoering een constructieve functie. Bij een systeemvloer worden de geprefabriceerde vloerelementen eveneens geplaatst voordat het beton tussen de fundering wordt gestort. Hierbij wordt de druklaag op de vloerelementen gelijktijdig met de fundering gestort*



*Figuur 7.0035e: Alle voorafgaande activiteiten worden door een gespecialiseerd grondwerkersbedrijf (in één arbeidsgang) in onderaanneming gerealiseerd. Daarna wordt het gebouw op de gebruikelijke wijze afgebouwd. Indien lijmelementen worden toegepast, vervalt de kimlaag*